



دانشگاه علوم پزشکی اردبیل

دانشکده بهداشت

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد در رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان:

کاربرد گرافن اکسید مغناطیسی شده در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶

از محلولهای آبی

نگارنده:

مریم عالی پور

استاد راهنما:

دکتر مهدی وثوقی نیری

اساتید مشاور:

دکتر سید احمد مختاری

دکتر هادی صادقی

زمستان ۹۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه علوم پزشکی اردبیل

دانشکده بهداشت

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد در رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان: کاربرد گرافن اکسید مغناطیسی شده در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از محلولهای آبی

محل انجام پژوهش: آزمایشگاه شیمی و میکروبیولوژی محیط دانشکده بهداشت.

نگارنده:

مریم عالی پور

استاد راهنما:

دکتر مهدی وثوقی نیری

اساتید مشاور:

دکتر سید احمد مختاری

دکتر هادی صادقی

شماره پایان نامه:

تاریخ تصویب پایان نامه: ۱۳۹۷ / ۳ / ۲۳

تاریخ دفاع پایان نامه: ۱۳۹۸ / ۱۰ / ۴

هزینه این پایان نامه از محل اعتبار طرح تحقیقاتی مصوب شماره ب / پ ۲/۹۷۱۸ تأمین شده است و کلیه

حقوق این پایان نامه برای معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اردبیل محفوظ است.

اظهار نامه اصالت پایان نامه

اینجانب **مریم عالی پور** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل نویسنده پایان نامه کاربرد گرافن اکسید مغناطیسی شده در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از محلولهای آبی تحت راهنمایی دکتر مهدی وثوقی نیری متعهد میشوم:

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد کرده ام.

مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی ارائه نگردیده است.

در تمامی مراحل انجام این پایان نامه اصل رازداری و اصول اخلاق پژوهشی را رعایت نموده ام.

امضای دانشجو

تاریخ



فرم حق مالکیت مادی و معنوی دانشگاه علوم پزشکی اردبیل در مورد نتایج پژوهش های علمی

این جانب **مریم عالی پور** فرزند **غلامرضا** به شماره ملی **۱۴۵۰۴۵۶۰۹۱** و شماره دانشجویی **۹۵۱۱۳۹۰۰۱** دانشجوی رشته **مهندسی بهداشت محیط** مقطع **کارشناسی ارشد** ورودی سال **۱۳۹۵** اطلاع دارم که کلیه حقوق ناشی از پایان نامه با عنوان **"کاربرد گرافن اکسید مغناطیسی شده در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از محلولهای آبی"** به راهنمایی استاد محترم: **دکتر مهدی وثوقی نیری** و مشاوران: **دکتر سید احمد مختاری** و **دکتر هادی صادقی** متعلق به گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل بوده و استاد راهنما مسئول اصلی پایان نامه و نویسنده مسئول و یا نویسنده اول کلیه مقالات و کتب می باشد.

این جانب موظف هستم کلیه مقالات حاصل از این پایان نامه اعم از مقالات در کنگره های داخلی و خارجی، مقالات در مجلات علمی و پژوهشی داخلی و خارجی، مقالات داخل کتاب ها، بولتن ها و بروشورها به زبان فارسی و انگلیسی، و یا سایر زبان ها و کلیه موارد علمی حاصل از پایان نامه را قبل از چاپ و یا ارائه، به تایید استاد راهنمای پایان نامه فوق الذکر برسانم و مجوز چاپ یا انتشار آن را کتباً اخذ نمایم و وابستگی سازمانی (**Affiliation**) خود را گروه. **بهداشت محیط** دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اردبیل ذکر نمایم و در هر مقطع زمانی که خلاف این امر ثابت شود دانشگاه یا استاد راهنما مراتب را از طریق مراجع ذیصلاح از جمله هیئت انتظامی هیات علمی، کمیته انضباطی دانشجویان، هیئت های بدوی و تجدید نظر رسیدگی به تخلفات کارکنان دولت ارجاع و پیگیری خواهند نمود.

کلیه موارد فوق الذکر را در کمال سلامت جسمی و روانی مطالعه نموده و قبول داشته و موظف به اجرای کلیه مفاد آن می باشم.

امضاء:

تاریخ:

نام و نام خانوادگی:

تقدیم و سپاسگزاری:

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت پیازماید.

تقدیم به پدر و مادر و مادر شوهر عزیز و مهربانم که درسختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

تقدیم به همسر و فرزند مهربانم به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و آسایش برایم فراهم آورداند.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر مهدی وثوقی برای تمام حمایت‌ها و زحمات بی دریغ‌شان و همچنین از استاتید مشاور محترم، جناب آقای دکتر سید احمد مختاری و جناب آقای دکتر هادی صادقی سپاسگزاری می‌کنم.

از جناب آقای دکتر یوسف پور عشق و همچنین آقای
دکتر سعید پرستار که زحمت دآوری این رساله را به عهده
داشتند سپاس فراوان دارم.

و از تمام کسانی که مرا دلسوزانه و صبورانه یاری
کردن تشکر می نمایم.

کاربرد گرافن اکسید مغناطیسی شده در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از

محلولهای آبی

چکیده

مقدمه و هدف: کمبود آب یکی از چالش های جدی در سطح جهان به ویژه در سالهای اخیر است. افزایش تقاضا به دلیل رشد جمعیت، صنعتی شدن و شهرنشینی بحران تامین آب را تشدید کرده است. فاضلاب های رنگی در صنایع مختلفی از جمله صنایع نساجی، رنگرزی، صنایع داروسازی، صنایع غذایی، تولید مواد آرایشی و بهداشتی، کاغذسازی، چرم سازی و صنایعی از این قبیل تولید می شوند. تخلیه فاضلاب های رنگی در آب های پذیرنده منجر به بروز پدیده اوتریفیکاسیون و تداخل در اکولوژی آب های پذیرنده می شود و همچنین ساختار پیچیده، پایدار و مقاوم به تجزیه بیولوژیک رنگ ها باعث شده که آن ها جزء مواد سمی، سرطان زا و جهش زا محسوب شده و نیز می توانند باعث آلرژی، درماتیت و مشکلات پوستی شوند. روش های متنوعی برای حذف این ترکیبات وجود دارد ولی روش جذب سطحی دارای قابلیت بیشتری می باشد. در این تحقیق روش جذب سطحی برای حذف رنگ انتخاب گردید و از گرافن اکسید مغناطیسی شده به عنوان جاذب استفاده شد.

مواد و روش ها: این مطالعه بصورت تجربی و درمقیاس آزمایشگاهی جهت تعیین کاربرد گرافن اکسید مغناطیسی شده در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ و با توجه به تأثیر پارامترها مانند pH اولیه، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت اولیه رنگ از محلول های آبی بر اساس طراحی Box-Behnken انجام گرفت. ایزوترم (لانگمویر و فروندلیچ) و سینتیک جذب (شبه درجه یک و دو) در غلظت های مختلف برای ارزیابی فرایند مورد بررسی قرار گرفت. ساختار و مرفولوژی کامپوزیت با استفاده از تکنیک های XRD، FTIR، SEM، VSM و BET مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: براساس نتایج به دست آمده میزان حذف رنگ بنفش ۱۶ با افزایش دوز جاذب، زمان تماس، و افزایش pH افزایش و با افزایش غلظت رنگ بنفش ۱۶ کاهش یافت. همچنین مقادیر پارامترهای بهینه برای دستیابی به حداکثر بازده حذف رنگ، pH اولیه ۷/۵، مقدار جاذب ۰/۲ گرم در لیتر، غلظت اولیه رنگ ۳۲/۵ میلی گرم بر لیتر و زمان واکنش ۶۰ دقیقه می باشد. بر اساس نتایج آنالیز واریانس مقادیر R^2 و $R^2_{adjusted}$ مدل به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۸ می باشد که نشان دهنده تطابق خوب مقادیر آزمایشگاهی با

مقادیر پیش بینی شده است همچنین مدل چند جمله درجه دوم (Quadratic) مناسب ترین مدل برای حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ با استفاده از جاذب $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{GO}$ می باشد. نتایج حاصل از مطالعه ایزوترم و سینتیک جذب نشان داد که فرآیند جذب از ایزوترم لانگمویر (۰/۹۸۱۶) و سینتیک شبه درجه دوم (۰/۹۹۶۵) تبعیت می کند.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که فرایند جذب با استفاده از گرافن اکسید مغناطیسی شده کارایی بالایی در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ دارد. این جاذب می تواند در شرایط بهینه غلظت رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ را به کمتر از ۱ میلی گرم بر لیتر برساند بنابراین می توان برای حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از محلول های آبی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: جذب سطحی، رنگ کاتیونی بنفش ۱۶، گرافن اکسید، نانوذرات مغناطیسی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات و پیشینه تحقیق.....	۱
۱-۱. مقدمه.....	۲
۲-۱. بیان مسئله.....	۲
۳-۱. تعریف واژه ها.....	۴
۴-۱. رنگ ها.....	۴
۱-۴-۱. طبقه بندی رنگ ها.....	۵
۱-۱-۴-۱. رنگ های پخش شونده.....	۶
۲-۱-۴-۱. رنگ های خمره ای.....	۶
۳-۱-۴-۱. رنگ های کاتیونی (پایه).....	۶
۴-۱-۴-۱. رنگ های آنیونی.....	۶
۵-۱-۴-۱. رنگ های اسیدی.....	۶
۶-۱-۴-۱. رنگ های واکنش پذیر.....	۶
۷-۱-۴-۱. رنگ های مستقیم.....	۷
۲-۴-۱. رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۷
۵-۱. تصفیه فاضلابهای رنگی.....	۹
۱-۵-۱. جذب سطحی.....	۱۰
۶-۱. گرافن.....	۱۰
۱-۶-۱. گرافن اکسید.....	۱۱
۷-۱. نانو ذرات Fe_3O_4	۱۲
۸-۱. ایزوترم های جذب سطحی.....	۱۳
۱-۸-۱. ایزوترم لانگمویر.....	۱۳

۱۴.....	۱-۸-۲. ایزوترم فروندلیج.....
۱۴.....	۱-۹. معادلات سنتیکی.....
۱۵.....	۱-۱۰. نرم افزار Design-Expert.....
۱۶.....	۱-۱۱. تجزیه واریانس و ارائه مدل ریاضی.....
۱۸.....	۱-۱۲. اهداف و فرضیات.....
۱۸.....	۱-۱۲-۱. هدف کلی.....
۱۸.....	۱-۱۲-۲. اهداف اختصاصی.....
۱۸.....	۱-۱۲-۳. اهداف کاربردی.....
۱۸.....	۱-۱۲-۴. فرضیات یا سؤالات پژوهش.....
۱۹.....	۱-۱۳. بررسی متون.....
۱۹.....	۱-۱۳-۱. مطالعات انجام گرفته در ایران.....
۲۰.....	۱-۱۳-۲. مطالعات انجام گرفته در جهان.....
۲۲.....	فصل دوم: مواد و روشها.....
۲۳.....	۲-۱. مقدمه.....
۲۳.....	۲-۲. طرح کلی تحقیق.....
۲۳.....	۲-۲-۱. بررسی منابع علمی و تدوین متغیرها.....
۲۴.....	۲-۲-۲. جامعه مورد مطالعه، نمونه گیری و حجم نمونه.....
۲۴.....	۲-۲-۳. روش گردآوری اطلاعات.....
۲۴.....	۲-۳. مشخصات تجهیزات و مواد شیمیای مورد استفاده در این پژوهش.....
۲۵.....	۲-۴. روش انجام آزمایشات.....
۲۵.....	۲-۴-۱. سنتز کامپوزیت.....
۲۵.....	۲-۴-۱-۱. سنتز گرافن اکسید.....

۲۷.....	۲-۱-۴-۲. سنتز نانومگنتیت Fe_3O_4
۲۸.....	۳-۱-۴-۲. بارگذاری نانو ذرات Fe_3O_4 مغناطیسی بر گرافن اکسید
۲۸.....	۵-۲. روش تهیه نمونه های رنگ
۲۹.....	۶-۲. مشخصات جاذب
۲۹.....	۷-۲. متغیرهای پژوهش
۳۱.....	۸-۲. طراحی آزمایشات:
۳۱.....	۹-۲. روش اندازه گیری غلظت رنگ کاتیونی بنفش ۱۶
۳۲.....	۱-۹-۲. رسم منحنی کالیبراسیون
۳۳.....	۱۰-۲. تعیین pH نقطه صفر (pHzpc)
۳۳.....	۱۱-۲. راندمان حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶
۳۳.....	۱۲-۲. میزان جذب تعادلی
۳۴.....	۱۳-۲. تعیین مدل های سینتیک و ایزوترم جذب
۳۴.....	۱-۱۳-۲. ایزوترم جذب
۳۴.....	۲-۱۳-۲. سینتیک جذب
۳۶.....	۱۴-۲. تاثیر آنیون ها بر جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از محلول های آبی
۳۶.....	۱۵-۲. بازیابی و استفاده مجدد از جاذب $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{GO}$ برای حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶
۳۷.....	فصل سوم: یافته ها
۳۸.....	۱-۳. مقدمه
۳۸.....	۲-۳. مشخصات کامپوزیت
۳۸.....	۱-۲-۳. نتایج آنالیز XRD
۳۹.....	۲-۲-۳. نتایج آنالیز FTIR
۴۰.....	۳-۲-۳. نتایج آنالیز VSM

۴۲.....	۴-۲-۳. نتایج آنالیز SEM.....
۴۴.....	۵-۲-۳. آنالیز سطح ویژه جاذب با استفاده از جذب نیتروژن BET.....
۴۴.....	۳-۳. تعیین pH نقطه صفر (pH _{zpc}).....
۴۵.....	۴-۳. نتایج مربوط به تجزیه و تحلیل آماری.....
۴۸.....	۳-۴-۱. تعیین نوع مدل متناسب با فرآیند حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....
۴۹.....	۳-۴-۲. تعیین ضرایب همبستگی برای مدل پیشنهادی درجه دوم.....
۴۹.....	۳-۴-۳. تعیین دقت و اعتبار مدل پیشنهادی.....
۵۲.....	۳-۴-۴. تاثیر پارامتر های مختلف بر روی جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....
۵۴.....	۳-۴-۵. مدل چند جمله ای درجه دوم و آنالیز ANOVA.....
۵۶.....	۳-۵. نتایج حاصل از فرایند.....
۵۶.....	۳-۵-۱. تاثیر pH اولیه محلول بر میزان جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....
۵۷.....	۳-۵-۲. اثر غلظت اولیه رنگ بر روی کارایی حذف رنگ بنفش ۱۶ (بررسی ایزوترم).....
۶۰.....	۳-۵-۳. اثر دوز جاذب بر کارایی حذف رنگ بنفش ۱۶.....
۶۰.....	۳-۵-۴. اثر زمان واکنش بر کارایی حذف رنگ ۱۶ بنفش (بررسی سینتیک).....
۶۴.....	۳-۷. تعیین شرایط بهینه فرایند جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....
۶۵.....	۳-۶. تاثیر آنیون ها بر جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از محلول های آبی.....
۶۶.....	۳-۷. بازیابی و استفاده مجدد از جاذب Fe ₃ O ₄ @ GO برای حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....
۶۷.....	فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری.....
۶۸.....	۴-۱. مباحث مربوط به حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ توسط کامپوزیت مغناطیسی.....
۶۸.....	۴ - ۱ - ۱. تاثیر pH اولیه محلول بر میزان جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ توسط کامپوزیت مغناطیسی.....
۶۸.....	۴ - ۱ - ۲. تاثیر غلظت اولیه رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ بر راندمان حذف توسط کامپوزیت.....

۴- ۱- ۳.	اثر دوز کامپوزیت بر کارایی جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۶۹
۴- ۱- ۴.	تأثیر زمان تماس بر کارایی جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ توسط کامپوزیت مغناطیسی.....	۷۰
۴- ۱- ۵.	بررسی ایزوترم جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ توسط کامپوزیت $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{GO}$	۷۰
۴- ۱- ۶.	بررسی سینتیک جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ توسط کامپوزیت مغناطیسی.....	۷۱
۴- ۲.	تجزیه و تحلیل آماری.....	۷۲
۴- ۲- ۱.	تعیین نوع مدل متناسب با فرآیند حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۷۲
۴- ۲- ۲.	بررسی دقت و اعتبار مدل پیشنهادی.....	۷۳
۴- ۲- ۳.	بررسی مدل چند جمله ای درجه دوم و آنالیز ANOVA.....	۷۴
۴- ۲- ۴.	تاثیر پارامترهای مختلف بر روی جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۷۴
۴- ۳.	بررسی شرایط بهینه فرایند جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۷۵
۴- ۵.	بررسی تاثیر آنیون ها بر جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ از محلول های آبی.....	۷۵
۴- ۶.	بررسی بازیابی و استفاده مجدد از جاذب $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{GO}$ در حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۷۵
	نتیجه گیری.....	۷۶
	پیشنهادهای.....	۷۷
	فهرست منابع و مآخذ.....	۷۸
	Abstract.....	۸۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱. خصوصیات فیزیکی شیمیایی رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۸
جدول ۱-۲. ویژگی های خاص، کاربردها و سمیت رنگ های مختلف.....	۸
جدول ۱-۲. تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش.....	۲۴
جدول ۲-۲. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق.....	۲۵
جدول ۳-۲. متغیرهای مورد مطالعه در پژوهش.....	۳۰
جدول ۴-۲. متغیرها سطح مدل طراحی Box-Behnken.....	۳۱
جدول ۵-۲. مدلهای سینتیک و ایزوترم جذب مورد مطالعه.....	۳۵
جدول ۶-۲. پارامترهای موجود در مدلها.....	۳۵
جدول ۱-۳. مساحت سطح (S_{BET})، کل حجم منافذ (V_P) و میانگین عرض منافذ (L).....	۴۴
جدول ۲-۳. مقادیر تجربی و پیش بینی شده برای حذف رنگ.....	۴۶
جدول ۳-۳. آزمون اهمیت برای ضرایب رگرسیون.....	۴۷
جدول ۴-۳. آنالیز مدل ضعف برازش برای انتخاب مدل متناسب با فرایند جذب.....	۴۸
جدول ۵-۳. ضرایب همبستگی برای مدل پیشنهادی درجه دوم.....	۴۹
جدول ۶-۳. آنالیز واریانس پارامترهای عملیاتی در جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶.....	۵۵
جدول ۷-۳. پارامترهای مربوط به ایزوترم های جذب سطحی رنگ بر روی $Fe_3O_4 @ GO$	۵۸
جدول ۸-۳. پارامترهای سینتیکی برای جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ با استفاده از $Fe_3O_4 @ GO$	۶۴
جدول ۹-۳. مقادیر بهینه متغیرها برای حذف رنگ بنفش ۱۶.....	۶۴

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. طبقه بندی رنگ ها بر اساس بار الکتریکی ۵
- شکل ۲-۱. شکل‌های گوناگون مواد کربنی ۱۱
- شکل ۳-۱. ساختار مولکولی گرافن اکسید ۱۲
- شکل ۴-۱. ساختار مولکولی گرافیت ، گرافن اکسید و کامپوزیت $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{GO}$ ۱۳
- شکل ۱-۲. سنتز نانو ذرات گرافن اکسید ۲۶
- شکل ۲-۲. سنتز نانو ذرات Fe_3O_4 ۲۷
- شکل ۳-۲. بارگذاری نانو ذرات Fe_3O_4 مغناطیسی بر گرافن اکسید ۲۸
- شکل ۴-۲. شکل کالیبراسیون رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ ۳۲
- شکل ۱-۳. الگوی پراش پرتوایکس ازگرافن اکسید (GO) a، نانوذرات Fe_3O_4 b، کامپوزیت $(\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{GO})$ ۳۹
- شکل ۲-۳. طیف‌سنجی FTIR ازگرافن اکسید (GO) a، نانوذرات Fe_3O_4 b، کامپوزیت $(\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{GO})$ c ۴۰
- شکل ۳-۳. آنالیز VSM برای نانوذرات Fe_3O_4 و کامپوزیت $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{GO}$ ۴۱
- شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ، ازگرافن اکسید (GO) a، نانوذرات Fe_3O_4 b، کامپوزیت $(\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{GO})$ c ۴۳
- شکل ۵-۳. pH نقطه صفر (pH_{zpc}) ۴۵
- شکل ۶-۳. نمودار نرمال باقیمانده ها ۵۰
- شکل ۷-۳. نمودار پیش بینی شده در مقابل واقعی ۵۰
- شکل ۸-۳. نمودار مقدار باقیمانده ها در برابر مقادیر پیش‌بینی شده ۵۱
- شکل ۹-۳. باقیمانده ها در مقابل ران ۵۱
- شکل ۱۰-۳. نمودار باکس کاکس ۵۲
- شکل ۱۱-۳. نمودار پارتو برای حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ ۵۳
- شکل ۱۲-۳. تاثیر پارامتر های مختلف بر روی راندمان حذف ۵۳
- شکل ۱۳-۳. اثر pH بر راندمان حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ (با ثابت بودن متغیر های غلظت اولیه ۵۷

شکل ۳-۱۴. اثر غلظت اولیه رنگ بنفش ۱۶ بر حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ (با ثابت بودن متغیرهای دوز جاذب ۰/۱۲۵ گرم بر لیتر و زمان ۳۲/۵ دقیقه)..... ۵۸

شکل ۳-۱۵. بررسی تطابق مدل لانگمویر با داده‌های آزمایشگاهی (غلظت اولیه از ۲۵ تا ۱۰۰ mg/L، غلظت جاذب ۰/۲ g/L، زمان تماس ۶۰ دقیقه)..... ۵۹

شکل ۳-۱۶. بررسی تطابق مدل فروندلیچ با داده‌های آزمایشگاهی (غلظت اولیه از ۲۵ تا ۱۰۰ mg/L، غلظت جاذب ۰/۲ g/L، زمان تماس ۶۰ دقیقه)..... ۵۹

شکل ۳-۱۷. اثر دوز جاذب بر راندمان حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ (با ثابت بودن متغیرهای pH برابر ۷/۵ و زمان ۳۲/۵ دقیقه)..... ۶۰

شکل ۳-۱۸. اثر زمان واکنش بر راندمان حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ (با ثابت بودن متغیرهای pH برابر ۷/۵ و دوز جاذب ۰/۱۲۵)..... ۶۱

شکل ۳-۱۹. بررسی اثر افزایش زمان تماس بر روی راندمان حذف در غلظت‌های مختلف (۲۵ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر). (pH برابر ۷/۵، دوز جاذب ۰/۲ گرم در لیتر و زمان تماس ۷۵ دقیقه)..... ۶۲

شکل ۳-۲۰. شکل خطی شده مدل سینتیکی شبه درجه اول به منظور تعیین پارامترهای سینتیکی شبه درجه اول در جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ بر روی $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{GO}$ ۶۳

شکل ۳-۲۱. شکل خطی شده مدل سینتیکی شبه درجه دو به منظور تعیین ثوابت سینتیکی شبه درجه دوم در جذب رنگ کاتیونی بنفش ۱۶ بر روی $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{GO}$ ۶۳

شکل ۳-۲۲. تعیین تاثیر آنیون‌های مختلف بر روی راندمان حذف رنگ کاتیونی بنفش ۱۶..... ۶۵

شکل ۳-۲۳. بازیابی و استفاده مجدد از جاذب $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{GO}$ ۶۶